

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА: КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЕЕ СТАНОВЛЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВООБРАЗУЮЩЕЙ ФИЗИКО–ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Баранов М.И., д.т.н., с.н.с.

НИПКИ "Молния" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"
Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"
тел. (057) 707-68-41, факс (057) 707-61-33, E-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Приведено короткий огляд основних досягнень людства в області генерування, передачі, прийому та посилення високочастотних електромагнітних коливань у мікрометровому – метровому діапазонах довжин хвиль, що відносяться до такої передової галузі науки і техніки як радіоелектроніка.

Приведен краткий обзор основных достижений человечества в области генерирования, передачи, приема и усиления высокочастотных электромагнитных колебаний в микрометровом – метровом диапазонах длин волн, относящихся к такой передовой отрасли науки и техники как радиоэлектроника.

Продолжение. Начало в №4 2008 г.

4. ИЗОБРЕТЕНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ И ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ

Заметным событием в истории развития радиоэлектроники стало изобретение и создание вместо ламповых радиоприборов полупроводниковых. История разработки первых полупроводниковых приборов восходит к 20-м годам прошлого столетия: в 1922 году наш соотечественник, российский инженер Нижегородской радиолaborатории О.В. Лосев изобрел *кристадин* – усилитель электрических колебаний, основанный не на электронной лампе, а на особом детекторе, выполненном из кристалла полупроводникового материала цинкита и тонкого угольного (графитового) стержня [2, 6]. Данное открытие опережало реальный уровень радио- и электротехники того времени на многие годы. Радиолампа тогда вступала в пору своего расцвета и предложенный О.В. Лосевым *кристадин* не смог с ней конкурировать. Полупроводниковый кристалл в то время не смог заменить электронную лампу. Имя изобретателя первого полупроводникового прибора в мире было на долгие годы незаслуженно забыто. Следует отметить то, что указанная выше радиолaborатория была создана по инициативе советского правительства и ею долгие годы руководил упомянутый нами известный радиотехник М.А. Бонч-Бруевич. Только в 40-е годы 20-го столетия был изобретен и создан первый миниатюрный кристаллический полупроводниковый диод на основе такого химического элемента как германий, открытого немецким ученым Винклером [6, 8]. Широкое внедрение в радиотехнику полупроводниковых приборов началось после изобретения и создания в 1948 году группой американских исследователей под руководством Шокли кристаллического триода или транзистора (этот термин происходит от английского слова "transistor" – "переносащий сопротивление" [1]). Транзисторы нашли весьма широкое применение при генерировании и усилении электрических колебаний в диапазонах длинных, средних и коротких радиоволн. Транзисторные усилители (генераторы) мощности по своим электронным свойствам и принципу ра-

боты практически аналогичны ламповым. Если ламповые усилители, как правило, включают по схеме с общим катодом (см. рис. 4, 5), то для кристаллических триодов T_K применяют схемы усиления электрических сигналов с общим эмиттером Э (рис. 6).

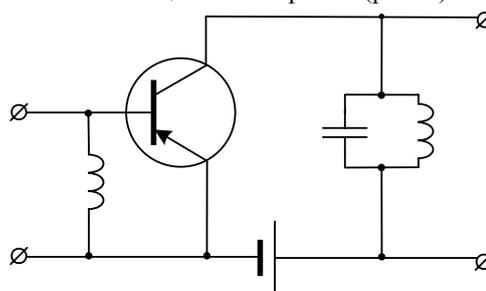


Рис. 6. Упрощенная схема усилителя мощности на полупроводниковом триоде

Делают это так в связи с тем, что такие схемы позволяют получать усиление не только по напряжению, но и по току [8]. Поэтому транзисторный усилитель с общим эмиттером Э аналогичен ламповому усилителю с общим катодом, приведенным на рис. 4. Транзисторный усилитель с общей базой Б соответствует схеме лампового усилителя с общей управляющей сеткой [8]. По ряду эксплуатационных характеристик кристаллические триоды обладают важными достоинствами перед ламповыми триодами: малыми размерами и весом, экономичностью в потреблении электроэнергии, механической прочностью и др. В тоже время к недостаткам полупроводниковых приборов можно отнести: их сравнительно небольшую мощность, зависимость в режиме их работы от температуры окружающей среды, инерционность по сравнению с электронными лампами [8].

В этом разделе необходимо отметить, что крупный вклад в теорию и практику использования в радиоэлектронике полупроводниковых приборов был внесен такими советскими учеными как [6, 8]: А.Ф. Иоффе, Б.П. Давыдовым, В.Е. Лашкаревым и др. В настоящее время весомые научно-практические результаты в области создания новых поколений высокоэффективных силовых электронных устройств и

систем полупроводниковой преобразовательной техники, используемых для внедрения в производство энергосберегающих технологий и повышения энергетической эффективности промышленного оборудования, имеет научный "флагман" отечественной электротехники, силовой электроники и энергетического машиностроения – Институт электродинамики НАНУ.

5. СОЗДАНИЕ МАГНЕТРОНА

В настоящее время в мощных радиопередатчиках основным типом сверхвысокочастотных генераторов в сантиметровом и длинноволновой части миллиметрового диапазонов радиоволн является радиоэлектронный прибор, получивший название магнетрона (этот термин происходит от греческого "*magnētis*" – "магнит" плюс окончание "трон" от слова "электрон" [1]) [8, 11]. В электровакуумном магнетроне управление электронным потоком осуществляется с помощью магнитного поля. Магнетрон по принципу действия подобен радиолампе ЛБВ. Его можно представить себе как ЛБВ, которая для установления связи своего входа со своим выходом согнута в кольцо. На рис. 7 приведено поперечное сечение магнетрона.

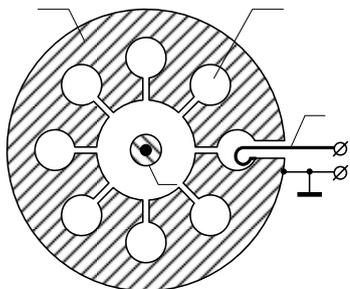


Рис. 7. Упрощенная схема магнетрона

Магнетрон согласно рис. 7 состоит из [8]: катода 1, металлического корпуса 2 (анода), объемных резонаторов 3 и петли связи 4. Напомним, что для настройки в резонанс колебательной системы в дециметровом и более коротковолновом диапазонах электромагнитных волн требуются очень малые значения ее емкости и индуктивности. Для этого и были изобретены своеобразные колебательные контуры, названные объемными резонаторами [6, 8]. Простейшим примером объемного резонатора может служить закрытый отрезок упомянутого выше в разделе 3 металлического волновода, в котором возбуждаются стоячие электромагнитные волны. В магнетроне объемные резонаторы 3, расположенные по окружности в корпусе 2, выполняют роль замедляющей движение электронов системы (как металлическая спираль в ЛБВ для поля). Источником электронов в магнетроне является стержневой катод 1, проходящий по продольной оси рассматриваемой нами колебательной системы и выполненный, как правило, из металлизированного керамического круглого стержня, подогреваемого нитью накала. Корпус 2 магнетрона обычно заземляется, а на катод 1 подается высокое постоянное напряжение отрицательной полярности от его источника питания. Поэтому в магнетроне ускоряющее электроны анодное напряжение приложено к вакуумному промежутку "катод-корпус". Ускоренный

этим напряжением радиальный электронный поток при помощи мощного постоянного магнита, магнитный поток которого направлен вдоль продольной оси магнетрона (перпендикулярно плоскости его поперечного сечения на рис. 7), закручивается вокруг стержневого катода 1. Пролетая мимо объемных резонаторов 3, электроны группируются в сгустки, которые тормозятся полем объемных резонаторов 3. Таким путем движущиеся по спирали электроны отдают часть своей приобретенной за счет действия анодного напряжения кинетической энергии полю объемных резонаторов 3. В зависимости от уровня ускоряющего электрического анодного напряжения и величины индукции продольного магнитного поля эмиссионные электроны попадают либо на корпус 2 (анод), либо возвращаются к катоду 1. В нормальном режиме работы магнетрона электроны не доходят до объемных резонаторов 3 и по циклоидным кривым возвращаются на стержневой катод 1. В результате одновременного действия в магнетроне напряженностей постоянных электрического и магнитного полей в нем (этом электронном приборе) формируется мощный вихревой поток электронов, вызывающий узкополосные (с частотой, близкой к резонансной) электромагнитные колебания в объемных резонаторах 3. Поле этих резонаторов формирует в последних свои вращающиеся сгустки электронов. Скорость вращения их такова, что они тормозятся как своим электромагнитным полем, так и полем, перемещающимся между катодом 1 и корпусом 2 вдоль объемных резонаторов 3. При этом вращающиеся в объемных резонаторах 3 электроны отдают этому полю приобретенную от источников электрического и магнитного полей энергию, а сами падают либо на корпус 2 (анод), либо возвращаются по сложным траекториям к катоду 1. Электромагнитная энергия генерируемых в магнетроне сверхвысокочастотных электрических колебаний отводится наружу к излучающей радиоволны системе петель связи 4, расположенной в одном из объемных резонаторов 3. Следует заметить, что магнетроны применяются в тех случаях, когда не требуется высокая стабильность частоты электрических колебаний, а необходима большая мощность генерируемых электромагнитных колебаний и соответственно сверхвысокочастотных радиоволн. Достоинством магнетрона является относительная простота его конструкции, сравнительно малые габаритные размеры и высокий коэффициент полезного действия [8,11]. Больших научно-практических результатов в создании, радиотехническом и технологическом применении магнетронов различной мощности в последние годы добились ученые Радиоастрономического института и Института радиоэлектроники НАНУ [16].

6. СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

Изобретение электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) во многих областях техники (например, в метрологии применительно к осциллографической измерительной аппаратуре и телевидении) произвело поистине революционные преобразования. Первые ЭЛТ были созданы Дж. Томсоном еще в 1897 году, независимо от него почти сразу Ф. Брауном [6]. ЭЛТ (рис. 8) является

ся не чем иным как особым типом крупногабаритной радиолампы, имеющей стеклянную колбу 7 с хорошо откавакумированным объемом, один конец которой со стороны катода 1 представляет собой тонкий круглый цилиндр (горловину), а другой конец имеет большое толстое выпуклое дно, являющееся экраном 5.

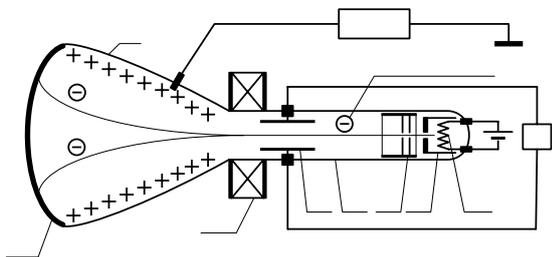


Рис. 8. Упрощенная схема устройства ЭЛТ

Экран 5 в ЭЛТ внутри покрыт тонким слоем специального фотосостава (люминофора), который обладает свойством светиться при попадании на него ускоренных электронов. Для большинства люминофоров яркость свечения после их возбуждения в вакууме электронным лучом спадает по экспоненциальному закону. Причем, имеют они сравнительно малое время послесвечения. Поэтому экран 5 обычно изготавливается двухслойным: вначале внутри стекло колбы 7 ЭЛТ покрывают слоем, имеющим длительное послесвечение (0,1-16 с) и состоящим из активированной медью композиции "цинк-кадмий-сульфид", а затем на него наносят люминофор (активированная серебром композиция "цинк-сульфид"), имеющий синее свечение и возбуждаемый электронным лучом [11]. Электроны в ЭЛТ создаются при помощи электронного прожектора (ЭП), который сообщает им большую скорость, частично фокусирует пучок электронов и позволяет регулировать интенсивность электронного потока [8]. ЭП по своей конструкции напоминает четырехэлектродную радиолампу и состоит согласно рис. 8 из: катода 1, управляющего электрода 2, ускоряющего электрода (экранной диафрагмы) 3 и анода 4. Катод 1 ЭЛТ представляет собой металлический цилиндр с размещенной внутри него нитью накала. Излучающей частью катода 1 является оксидный слой торца металлического цилиндра, охватывающего нить накала. Управляющий электрод 2 выполнен также в виде металлического цилиндра, коаксиально охватывающего катод 1. Торцы этого цилиндра в электроде 2 имеет малое круглое отверстие, расположенное напротив излучающей части катода 1. Основной функцией управляющего электрода 2 является регулирование яркости свечения экрана 5. С этой целью в ЭЛТ на управляющий электрод 2 подают отрицательное относительно катода 1 напряжение, которое и определяет интенсивность электронного потока. Ближе к экрану 5 размещен ускоряющий электрод 3, находящийся под положительным относительно катода 1 напряжением в несколько сот вольт и выполняющий роль экранной сетки радиолампы. Ускоряющий электрод 3 выполняется в виде цилиндра, снабженного внутри диафрагмами, которые отсекают электроны, сильно отклоняющиеся от оси ЭЛТ. Анод 4 в ЭЛТ выполняется в виде графитового проводяще-

го покрытия, нанесенного изнутри на стеклянную стенку колбы 7 (на участке от ее горловины до выпуклого дна). На анод 4 от источника высокого напряжения (ИВН) подается напряжение положительной полярности в несколько тысяч вольт, являющееся основным источником энергии для ускоряемых электронов. Отклонение электронного луча в ЭЛТ может быть как электрическим, так и магнитным.

Электронная система для отклонения луча в ЭЛТ в одном направлении состоит из пары параллельных пластин 6, между которыми пролетает электронный поток. Если к пластинам 6 от источника напряжения 8 приложить разность электрических потенциалов, то между ними, как в плоском конденсаторе, возникает электрическое поле с напряженностью E_3 . На электрон, попадающий в это поле, будет действовать сила F_e , равная $F_e = e_0 E_3$, где $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – элементарный электрический заряд электрона [17]. Под действием силы F_e электрон в ЭЛТ в направлении к экрану 5 будет двигаться, словно горизонтально брошенное над землей тело под действием силы тяжести – по параболе (см. рис. 8). Отклонение светового пятна на экране 5, создаваемого электронным лучом, будет прямо пропорционально приложенному к пластинам 6 напряжению. Направление отклонения электронного луча ("влево-вправо", "вверх-вниз") в ЭЛТ определяется знаком приложенного к пластинам 6 напряжения (полярностью их заряда). Две пары пластин 6, расположенных у горловины ЭЛТ перпендикулярно друг другу, позволяют перемещать засвет в любую точку экрана 5. Отметим, что ЭЛТ с электростатическим отклонением электронного луча находят широкое применение в индикаторных устройствах радиолокационных устройств [8, 11].

Связано это с тем, что такие электростатические системы управления лучом позволяют получать большие скорости развертки, так как электростатическая отклоняющая система не потребляет электрический ток.

Магнитная система для отклонения электронного луча в ЭЛТ содержит цилиндрическую катушку 9, расположенную снаружи стеклянного баллона 7 у горловины ЭЛТ. Магнитное поле катушки 9 заставляет электроны этого луча двигаться к экрану 5 по окружности. Величина отклонения луча будет пропорциональна напряженности продольного магнитного поля и определяется током в отклоняющей катушке 9. В ЭЛТ применяются две системы отклоняющих катушек 9 – строчная и кадровая. Они обеспечивают магнитное отклонение электронного луча соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях. Магнитная отклоняющая система упрощает конструкцию ЭЛТ и уменьшает ее размеры. Кроме того, заметим, что магнитная фокусировка электронного луча позволяет получать на экране 5 светящееся пятно меньших, чем электронная фокусировка, размеров, что способствует повышению четкости и качества изображения на экране 5. ЭЛТ нашла широкое использование в осциллографах при исследовании процессов в электрических цепях, авиационных навигационных и радиолокационных приборах, телекамерах, кинескопах телевизоров и дисплеях ПЭВМ.

7. СОЗДАНИЕ РАДАРА

По мере развития радиотехники и тесным образом связанной с ней электротехники возникали новые области их практического применения. Термин "*radar*" согласно [1] происходит от сочетания таких английских слов как "*Radio Detecting and Ranging*" – "*обнаружение и определение расстояния при помощи радио*". Этот термин эквивалентен понятиям "*радиолокатор*" или "*радиолокационная станция*", обозначающим установку для обнаружения и определения местоположения объекта (цели) методом радиолокации (латинское слово "*location*" означает "*расположение*") [1, 11]. Данный метод базируется на направленном излучении и приеме отраженных от наблюдаемой цели радиоволн сверхвысокой частоты (активная радиолокация) или приеме собственного радиоизлучения от обнаруживаемой цели (пассивная радиолокация). В мире на первоначальном этапе развития указанного метода обнаружения в околоземном пространстве различных технических объектов, прежде всего военных целей, наибольшее развитие получила активная радиолокация. Зародилась она в 30-е годы прошлого столетия, предшествующие второй мировой войне, с целью обнаружения, измерения координат и параметров движения в воздушной атмосфере самолетов (своих и потенциального военного противника). Становление основ активной радиолокации и разработка первых опытных образцов радиолокационных станций (РЛС) проводились примерно одновременно в ряде передовых в научно-техническом плане и промышленно развитых странах мира: прежде всего, в таких как СССР, Англия и Германия [8, 11].

Научно-технические разработки в СССР в рассматриваемой области радиолокации были одними из первых в мире. Так, уже в 1932 году инициативные работы по активной радиолокации у нас начал проводить военный инженер П.К. Ощепков. Затем, в 1933 году радиотехнические опыты нашего Ю.К. Коровина подтвердили возможность радиолокации непрерывным методом (гармоническими незатухающими электромагнитными волнами) в дециметровом диапазоне радиоволн на дальности до 700м [6, 11]. В период 1935-1937 годов под руководством Б.К. Шембеля в СССР были проведены полевые испытания радиолокатора "*Буря*", использующего непрерывный метод излучения с частотной модуляцией незатухающего зондирующего электромагнитного сигнала. При этих испытаниях была достигнута максимальная на то время дальность обнаружения самолетов до 11км. В 1939 году на вооружение войск противовоздушной обороны СССР были приняты разработанные под научным руководством Д.С. Стогова разнесенные на расстояние РЛС непрерывного действия, работающие на основе использования эффекта Допплера (явления изменения частоты отраженных гармонических радиоволн, регистрируемых РЛС, которое происходит вследствие движения источника этих отраженных электромагнитных волн – самолета) [17]. Изделия этой разработки получили наименование РУС-1 (радиоуправитель самолетов). Здесь необходимо указать то, что в эти годы большой вклад в развитие радиолокации в СССР был внесен Ленинградским физико-

техническим институтом (ЛФТИ) АН СССР, долгие годы возглавляемым союзным академиком А.Ф. Иоффе, где активно функционировала радиотехническая лаборатория. В этой лаборатории в 1935 году начал свою работу по импульсной активной радиолокации (короткими зондирующими сигналами с импульсной модуляцией для создания "зарубок" на радиоволнах) будущий известный радиотехник и академик АН СССР Ю.Б. Кобзарев [8, 11]. В 1937 году он с небольшой группой сотрудников создал первую в мире импульсную РЛС [11]. На данном типе РЛС в 1938 году была достигнута дальность ее действия до 50км при высоте полета самолетов в земной атмосфере до 1500м. В 1941 году на основе этих разработок вооруженными силами СССР в эксплуатацию была принята импульсная РЛС типа РУС-2, которая явилась основой для целой серии последующих военных образцов отечественных РЛС. В данных РЛС расстояние (дальность) $D_{ц}$ от радара до цели (самолета) в воздушном пространстве (вакууме) с достаточной для практических целей точностью определяется на основе такого простого расчетного соотношения [11]: $D_{ц} = ct_3 / 2$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения от РЛС зондирующей радиоволны в воздухе (вакууме); t_3 – время запаздывания отраженного от цели электромагнитного сигнала по отношению к зондирующему сигналу, излученному РЛС (временной интервал между "зарубками" на прямом и отраженном радиоимпульсах). Фиксируется время t_3 в РЛС реально при помощи рассмотренной в разделе 6 ЭЛТ.

За большие достижения в области радиолокации вначале 1941 года научные сотрудники ЛФТИ Ю.Б. Кобзарев, П.А. Погорелко и Н.Я. Чернецов были удостоены Государственной премии СССР. Их научно-техническая конкурсная работа называлась "*Изобретение прибора для обнаружения самолетов*" [11]. С научно-исторических позиций к этому следует добавить то, что еще в 1904 году немецким инженером Х. Хюльсмайером был получен патент на "*Способ обнаружения металлических объектов по отражению от них радиоволн*" [6, 11]. Однако радиотехника того времени из-за своего недостаточного научно-технического уровня не смогла обеспечить практическую реализацию этой, как оказалось в дальнейшем, перспективной и имеющей важное военное и гражданское назначение технической идеи.

Предвоенные бурные политические события в Европе и вторая мировая война активно стимулировали во многих странах мира дальнейшее развитие для военной области микроволновой радиотехники, полупроводниковой электроники, радиофизики и радиолокации. В этот период в США к радиолокационной проблеме подключилась Линкольновская лаборатория при Массачусетском технологическом институте, разработавшая впоследствии американский вариант импульсного радара [18]. В настоящее время активная и пассивная радиолокация широко используется как в гражданской, так и военной авиации (в наземных приаэродромных и бортовых радиотехнических устройствах), в системах противовоздушной и противо-

ракетной обороны, в ракетно-космической технике, а также при исследовании околоземного пространства, включая ионосферу Земли, ближнего и дальнего космоса. Весомый вклад в теорию и практику радиолокации внесен и продолжает активно вноситься сейчас такими широко известными во всем мире научно-исследовательскими организациями Украины как: Институтом ионосферы НТУ "ХПИ" Министерства образования и науки, а также Институтом радиоэлектроники НАНУ и Радиоастрономическим институтом НАНУ. Сотрудниками Института ионосферы во второй половине прошлого столетия был создан уникальный радар некогерентного рассеяния, ставший в 2002 году объектом Национального достояния Украины [9]. С помощью данного радара изучается, например, физика процессов в околоземной плазме, прогнозируется ее (плазмы) поведение при вспышках на Солнце, солнечных затмениях, магнитных и ионосферных бурях. Результаты этих исследований используются в международных радиофизических программах, а также находят практическое применение для бесперебойного функционирования различных радиотехнических средств при радиосвязи с самолетами, космическими аппаратами (станциями и спутниками) и системами глобального позиционирования.

Окончание следует

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. - М.: Русские словари, 2004.- 957 с.
- [2] Плоский А.Ф. Как человек приручил волну.- М.: Сов. Россия, 1958.-224 с.
- [3] Баранов М.И. Джеймс Клерк Максвелл и теория электромагнитного поля // *Электротехніка і електромеханіка*.-2005.- №1.- С. 5-7.
- [4] Баранов М.И. Генрих Рудольф Герц – первооткрыватель электромагнитных волн // *Электротехніка і електромеханіка*.-2006.- №1.- С. 5-11.
- [5] Григорьян А.Г., Вяльцев А.Н. Генрих Герц. 1857-1894.- М.: Наука, 1968.-309 с.
- [6] Кудрявцев П.С. Курс истории физики.- М.: Просвещение, 1974.-312 с.
- [7] Попов А.С. Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний // *Журнал русского физико-химического общества. Серия физическая*.-1896.- Т.28.-С. 1-14.
- [8] Мельник Ю.А., Стогов Г.В. Основы радиотехники и радиотехнические устройства.- М.: Сов. радио, 1973.- 368 с.
- [9] Баранов М.И. Оливер Хевисайд и его вклад в мировую сокровищницу науки // *Электротехніка і електромеханіка*.-2005.- №4.- С. 5-14.
- [10] Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1.- Л.: Энергоиздат, 1981.-536 с.
- [11] Финкельштейн М.И. Основы радиолокации.- М.: Сов. радио, 1973.-496 с.
- [12] Жукова Л.Н. Лодыгин/ Серия: Жизнь замечательных людей.- М.: Молодая гвардия, 1989.-304 с.
- [13] Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский.- Киев: Наукова думка, 1989.-864с.
- [14] Баранов М.И. Ретроспектива исследований в области искусственного и атмосферного электричества и молниезащиты технических объектов // *Электротехніка і електромеханіка*.-2006.- №5.- С. 5-13.
- [15] Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов. Справочник.- Киев: Наукова думка, 1981.-338 с.
- [16] Ваврин Д.М., Казанцев В.И., Канило П.М., Лебедюк И.Н. и др. Использование СВЧ-энергии для безмазутного розжига и стабилизации горения низкосортных углей // *Вестник МГТУ им. Баумана*.-2003.-№1.-С. 87-97.
- [17] Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: Наука, 1990.-624 с.
- [18] Баранов М.И. Энрико Ферми – один из основоположников квантовой статистики, электродинамики и ядерной энергетики // *Электротехніка і електромеханіка*.-2007.- №2.- С.5-12; №3.- С. 5-11.
- [19] Баранов М.И. Эрвин Шредингер и новые пути развития физической науки микромира// *Электротехніка і електромеханіка*.-2006.- №4.- С. 5-15.
- [20] Onishchenko I.N. Progress in plasma wakefield acceleration driven by a short intense bunch of relativistic electrons// *Problems of Atomic Science and Technology*.-2006.-№6.-Series: Plasma Physics (12).-p. 158-162.
- [21] Adler R.J. Comparison of DC and pulsed beams for commercial applications// 10th International Conference on High Power Particle Beams.-San Diego, USA (20-24 June 1994).-Vol. 1.-P. 29-32.
- [22] Гурин А.Г., Корнилов Е.А., Ложкин Р.С. Контроль работоспособности изоляции линейного индукционного ускорителя, применяемого для промышленных целей // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика та перетворююча техніка. Харків: НТУ "ХПИ".-2005.- №42.-С. 16-20.
- [23] Баранов М.И. Ретроспектива, современное состояние и перспективы развития исследований в области создания электроустановок с мощными накопителями электрической и магнитной энергии // *Электротехніка і електромеханіка*.-2007.- №5.- С. 48-60.

Поступила 21.11.2007